

# **Návrh a praktická realizace systému managementu napájení pro palubní síť s více palubními akumulátory**

Design and Practical Implementation of a Power Management System for On-board Networks with Multiple On-Board Batteries

**Matyáš Michenka**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Ostrava, 2021

## **Zadání bakalářské práce**

1. Provedte teoretický rozbor důležitých částí a praktickou analýzu funkčních vlastností palubní napájecí soustavy vytipovaného vozidla Škoda Superb 3. generace, včetně praktické analýzy CAN komunikace pro vedoucím vytipované datové zprávy, resp. signály.

2. Na základě vedoucím doporučeného blokového schématu a požadovaného funkčního principu, provedte konkrétní návrh zapojení pro management napájení s více palubními akumulátory s aplikací mikropočítačového systému. Dle dohodnutých, resp. stanovených parametrů provedte výběr všech komponentů.

3. Provedte praktickou realizaci navrženého zapojení a integraci do vytipovaného vozidla.

4. Provedte experimentální ověření realizovaného zapojení a vypracujte uživatelskou příručku, která bude přílohou bakalářské práce a je součástí technické dokumentace úprav testovacího vozidla Škoda Superb 3. generace.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a praktickou realizací systému managementu napájení pro palubní síť s více palubními akumulátory. V úvodu práce je rozebrána teoretická řešení palubní napájecí soustavy a její praktická analýza včetně CAN komunikace. Ve druhé části bakalant na základě požadovaného funkčního principu popisuje návrh zapojení systému a výběr komponentů potřebných pro správnou funkčnost systému. Následuje popis softwarové části, popis praktické realizace navrženého zapojení a integrace do testovacího vozidla. Poté v práci bakalant provedl experimentální ověření funkce systému a předává výsledky, kterých dosáhl. Na závěr vypracoval technickou dokumentaci vozidla spolu s uživatelskou příručkou, která je součástí bakalářské práce.

## **Klíčová slova**

akumulátor, CAN sběrnice, E-box, IBS senzor, palubní systémy, přídavné systémy, relé, řídicí systém

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the design and practical implementation of a power management system for an on-board networks with multiple on-board batteries. The introduction analyzes the theoretical search of the on-board power supply system and its practical analysis, including CAN communication. In the second part, the bachelor candidate, based on the required functional principle, describes the design of the system connection and the selection of components needed for the proper functioning of the system. The following is a description of the software parts, a description of the practical implementation of the proposed connection and integration into the test vehicle. Then in the work the bachelor candidate performed an experimental verification of the function of the system and passes on the results he achieved. Finally, he prepared the technical documentation of the vehicle together with the user manual, which is part of the bachelor's thesis.

## **Key words**

battery, CAN bus, E-box, IBS sensor, on-board systems, additional systems, relays, control system

## **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za proběhlé konzultace a odborné vedení bakalářské práce.  
Také děkuji panu Ing. Tomáši Mrověcovi, Ph.D. za cenné rady.

# Obsah

Seznam použitých zkratk	- 7 -
Seznam obrázků	- 8 -
Seznam tabulek	- 9 -
Úvod	- 10 -
1 Teoretická řešení napájecí palubní sítě vytipovaného vozidla	- 11 -
1.1 Akumulátor	- 11 -
1.2 Intelligent Battery Sensor (IBS)	- 12 -
1.3 Alternátor	- 13 -
1.4 Regulátor napětí palubní sítě	- 13 -
1.5 Analýza palubního akumulátoru	- 14 -
1.6 Analýza CAN komunikace	- 15 -
2 Návrh hardwaru a softwaru	- 16 -
2.1 Funkční princip a důvod integrace	- 16 -
2.2 Schéma zapojení	- 17 -
2.3 Výběr komponentů	- 19 -
2.4 Arduino IDE	- 22 -
2.5 Hazardní stavy	- 23 -
2.6 Možné stavy akumulátorů	- 24 -
3 Realizace hardwaru a softwaru	- 25 -
3.1 Praktické schéma zapojení	- 25 -
3.2 Realizace praktického zapojení	- 25 -
3.3 Softwarová část	- 27 -
4 Experimentální ověření	- 30 -
4.1 Měření digitálním osciloskopem	- 30 -
4.2 Ověření programem CANoe	- 32 -
4.3 Technická dokumentace vozidla	- 34 -
4.3.1 Důvod integrace řídicího systému	- 34 -
4.3.2 Popis integrace	- 34 -
Závěr	- 35 -
Použitá literatura	- 36 -
Seznam příloh	- 37 -

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
<b>A1</b>	Palubní akumulátor
<b>A2</b>	Přídavná akumulátor
<b>AGM</b>	Absorbed Glass Material
<b>ALT</b>	Alternátor
<b>BP</b>	Bakalářská práce
<b>COM2</b>	GND
<b>HW</b>	Hardware
<b>IBS</b>	Intelligent Battery Sensor
<b>Kbit/s</b>	Kilobit za sekundu
<b>LSB</b>	Least Sagnificant Byte
<b>MSB</b>	Most Sagnificant Byte
<b>NC</b>	Normally Closed
<b>NO</b>	Normally Open
<b>RMS</b>	Root Mean Square
<b>SW</b>	Software
<b>VDC</b>	Stejnoseměrné napětí

## Seznam obrázků

Obrázek 2.1:	Doporučené blokové schéma zapojení .....	- 17 -
Obrázek 2.2:	Schéma zapojení managementu s více akumulátory .....	- 18 -
Obrázek 2.3:	Schéma zapojení E-boxu .....	- 19 -
Obrázek 2.4:	Automobilové výkonové přepínací relé .....	- 21 -
Obrázek 2.5:	Vývojový kit ESP32-EVB .....	- 21 -
Obrázek 2.6:	DC/DC měnič stejnosměrného napětí .....	- 22 -
Obrázek 2.7:	Vývojový diagram .....	- 23 -
Obrázek 3.1:	Praktické schéma zapojení E-boxu .....	- 25 -
Obrázek 3.2:	Zkompletovaný E-box .....	- 26 -
Obrázek 3.3:	Umístění E-boxu ve vozidle .....	- 27 -
Obrázek 3.4:	Čelní panel E-boxu .....	- 27 -
Obrázek 3.5:	Výstup programu v prostředí Arduino IDE .....	- 28 -
Obrázek 3.6:	Výstup programu v prostředí Arduino IDE .....	- 29 -
Obrázek 4.1:	Průběh napětí na akumulátorech A1 a A2 při startu a zastavení motoru .....	- 30 -
Obrázek 4.2:	Průběh napětí na akumulátorech A1 a A2 při startu motoru .....	- 31 -
Obrázek 4.3:	Ukázka programu CANoe, vypnuté zapalování a motor .....	- 32 -
Obrázek 4.4:	Ukázka programu CANoe, zapnuté zapalování a vytočené otáčky .....	- 33 -



## Seznam tabulek

Tabulka 1.1:	Měření vybití akumulátoru A1 .....	- 14 -
Tabulka 1.2:	Hodnoty odběru proudu a napětí nabitého akumulátoru s IBS .....	- 14 -
Tabulka 1.3:	Hodnoty odběru proudu a napětí vybitého akumulátoru s IBS .....	- 14 -
Tabulka 2.1:	Použité komponenty pro realizaci zadání BP .....	- 19 -
Tabulka 2.2:	Měření vybití akumulátoru A2 .....	- 20 -

## Úvod

V prvopočátcích integrace elektroniky do vozidel byly veškeré systémy analogové. Pod tím si lze představit například analogový ukazatel směrovek a ruční posuv oken nebo venkovních zrcátek. Dříve vozidla nebyly vybaveny žádnými elektronickými systémy a vše se ovládalo mechanicky. Samotné vozy byly rozměrově robustní a pro uživatele nemusely být dostatečně komfortní, o bezpečnosti nemluvě. S vývojem elektroniky ve světě automobilový průmysl nezůstal pozadu. Postupem času se do vozidel přidávaly nejrůznější elektronické systémy zajišťující především komfort a bezpečnost pro řidiče i posádku automobilu. U vozidel, které dnes vyjedou z výrobní linky, si už asi těžko představíme například ruční ovládání venkovních zrcátek, nebo že by vozidlo nebylo vybaveno systémem ESP. V dnešní době je možné koupit většinu vozidel ve variantě s automatickou převodovkou. Cena vozu je poté vyšší, avšak při následném provozu bude spotřeba paliva nižší, než kdyby bylo vozidlo vybaveno manuální převodovkou. S automatickou převodovkou tematicky souvisí také neustálé požadavky na snižování emisí. Také bezpečnost v automobilech hraje velkou roli. Čím dál více mladých a nezkušených řidičů zachází za své hranice možností. Dalo by se říct, že po vozidlech je dnes vyžadováno, aby myslely za řidiče. Proto mají dnešní automobily nespočet elektronických systémů, které neustále přibývají. Od roku 2000 se počet instalovaných řídicích jednotek do vozidel 5x navýšil. S navýšením elektroniky v automobilu se logicky musí navyšovat také potřebná energie pro tyto systémy. Některé dnešní vozidla již pracují na palubním napětí 24 VDC. S přibývajícím požadavkem na snižování emisí automobilky začínají představovat více hybridních nebo čistě elektrických vozů. Bohužel, kupní cena čistě elektrického automobilu je pro dnešní společnost v České republice stále vysoká. Například v Norsku se za minulý rok prodalo větší množství elektromobilů než automobilů se spalovacím motorem.

Cílem této bakalářské práce (dále jen BP) je vyvinout systém, který by sám na základě požadovaných stavů vozidla zajišťoval paralelní spojení nebo rozpojení palubního a přídatného akumulátoru. Rozpojené akumulátory jsou na sobě nezávislé a tento stav je požadován v případech, kdy probíhá testování přídatných systémů na vozidle. Nemusí se tedy opotřebovávat palubní akumulátor. Spojení akumulátoru paralelně je vyžadováno z důvodu dobíjení akumulátorů současně elektrickou nabíječkou nebo během nastartovaného motoru.

V první části práce je rozebrána teoretická rešerše napájecí palubní sítě a její praktická analýza. Popsána je také CAN komunikace pro vytipované zprávy a signály. V druhé části je proveden návrh zapojení řídicího systému do vozidla. S návrhem zapojení se pojí také výběr potřebných komponentů. Poté následuje část praktické realizace hardwaru a softwaru. Do mikropočítače implementovaném na řídicím systému byl nahrán program napsaný v softwarovém prostředí Arduino IDE a proběhla implementace systému s příslušnými komponenty do vozidla. V poslední části je provedeno experimentální ověření, kde bylo třeba dokázat spojení nebo rozpojení akumulátorů paralelně. V závěru práce byla vytvořena technická dokumentace vozidla a technická příručka, která je součástí přílohy. Technická příručka slouží pro uživatele, kteří budou manipulovat s vytvořeným systémem.

# 1 Teoretická rešerše napájecí palubní sítě vytipovaného vozidla

Vytipovaným vozidlem je vůz Škoda Superb III. generace (combi). Tento vůz slouží pro testování na Vysoké škole Báňské v Ostravě.

## 1.1 Akumulátor

Akumulátor, někdy také nazývaný palubní akumulátor, startovací baterie nebo akumulátorová baterie, je jediným primárním zdrojem elektrické energie, který je zcela nezávislý na spalovacím motoru. Jiné točivé zdroje elektrické energie, např.: alternátor, jsou poháněny spalovacím motorem, z čehož vyplývá, že pracují jen v případě, že se otáčí motor. Při nízkých otáčkách motoru v momentě, kdy alternátor nestačí dodávat dostatečné množství elektrické energie, regulátor napětí zapne do sítě též akumulátorovou baterii. Akumulátorová baterie napomáhá alternátoru napájet palubní síť při nízkých otáčkách motoru v momentě, kdy je např.: zapnuto velké množství silných spotřebičů. Z tohoto důvodu je akumulátor nepostradatelným zdrojem elektrické energie.

Olověné akumulátory můžeme rozdělit podle technologie výroby na akumulátory s příměsí kalcia, AGM, GEL nebo EFB.

Výroba akumulátoru pomocí olověných elektrod a elektrolytu ve formě kyseliny sírové jako tekutiny byla nejvíce rozšířená. Jedná se o nejlevnější, nejméně výkonný a nejnáročnější akumulátor na údržbu ze všech výše uvedených akumulátorů.

Příměs kalcia zaručí vyšší pevnost desek umístěných v akumulátoru. Vyšší pevnost desek zabraňuje odpařování elektrolytu. Tyto baterie by se neměly dostat na stav úplného vybití.

AGM (Absorbed Glass Mat) technologie je specifická tím, že elektrolyt je nasáklý v tkanině ze skelných vláken. Tyto akumulátory jsou bezúdržbové, vysoce výkonné a mají vysokou životnost. Pokud dojde k jejich úplnému vybití, nedojde k jeho poškození. Tyto akumulátory se používají především pro vozidla s brzdou rekuperací a systémem start-stop. Nevýhodou je potřeba použít speciální typ nabíječky.

GELové akumulátory se od AGM liší tím, že místo skelných vláken je použit elektrolyt vázán v křemičitém gelu. Mají stejné výhody jako AGM, kromě použití ve vozidlech se systémem start-stop.

Poslední technologií jsou EFB (Enhanced Flooded Battery). Tato technologie využívá tekutý elektrolyt a lze ji považovat za méně kvalitní alternativu AGM akumulátoru s rozdílem, že EFB nelze použít pro brzdou rekuperaci. [6]

Hlavními parametry akumulátoru jsou napětí, kapacita a záběrový proud. Dalšími parametry jsou hmotnost a vnitřní odpor akumulátoru. Vnitřní odpor je dán složkami činné hmoty a jejího spojení s mřížkou, vlastnostmi přechodové vrstvy a separátorů, hustotou a teplotou elektrolytu. Velikost vnitřního odporu se pohybuje v řádu jednotek až desítek mΩ.

### Napětí akumulátoru (V)

Napětí akumulátoru je dáno počtem článků. Článek má jmenovitou hodnotu napětí 2 až 2,1 V. Šestičlánekový akumulátor, který je plně nabitý, bude mít hodnotu 12,6 V. Naopak vybitý šestičlánekový akumulátor bude mít hodnotu 10,5 V, protože napětí vybitého článku je 1,75 V.

### **Kapacita akumulátoru (Ah)**

Tento údaj vyjadřuje, kolik energie je akumulátor schopen v sobě uchovat. Jednotka ampérhodina odpovídá součinu velikosti vybíjecího proudu a době vybíjení. Kapacita je závislá na stáří akumulátoru, teplotě a také na velikosti vybíjecího proudu. Je definována tzv. jmenovitá dvacetihodinová kapacita C20. Ta odpovídá rovnoměrnému vybíjení při teplotě 27 °C proudem 0,05 C<sub>20</sub> A, do snížení napětí na 1,75 V na článek.

### **Záběrový proud akumulátoru (I)**

Někdy nazýván startovací proud, vyjadřuje, jaký výkon je akumulátor schopen dodat. Velikost proudu je dána okamžikem, kdy dochází vlivem zvyšujícího se odběru k prudkému poklesu napětí. Udává se také vybíjecí proud dle normy EN a DIN. U normy DIN hovoříme o velikosti proudu, který musí být akumulátor schopen dodávat po dobu 30 vteřin při teplotě -30 °C, aniž by napětí kleslo pod 9 V. [1][4]

### **Akumulátor (A1) Varta AGM**

Jako hlavní akumulátor (A1) pro napájení palubních systémů a řídicích jednotek je použit AGM akumulátor, který je ve vozidle umístěn už od výroby.

Štítkové informace:

- označení: 7P0 915 105,
- napětí: 12 V,
- kapacita: 68 Ah,
- startovací proud: podle normy DIN 380 A, podle normy EN 680 A.

## **1.2 Intelligent Battery Sensor (IBS)**

Tento senzor slouží k měření hlavních parametrů baterie, jimiž jsou napětí, teplota a záběrný proud. Na základě změřených hodnot senzor s pomocí algoritmů vyhodnotí informace o stavu dobití (SoC), stavu nabití (SoH) a o funkčním stavu baterie (SoF). Se senzorem mohou spolupracovat různé funkce energetického managementu pro spalovací motory, popřípadě inteligentní ovládání alternátoru, což vede ke snížení emisí CO<sub>2</sub>.

Senzor je připevněn pomocí bateriové svorky na záporném pólu baterie. K nepřímému měření proudu dochází díky měřicímu bočnímu dílu, který je zapojen jako měrný odpor do zatěžované napěťové větve vozidla. Samotná elektronika senzoru je uložena a zalitá v pouzdře. Součástí je samozřejmě konektor, který slouží jako rozhraní do systému energetického managementu.

IBS senzor je určen k použití ve startovacích gelových a AGM bateriích. Prostřednictvím LIN protokolu lze senzor začlenit do ovládání napájecí palubní sítě vozidla.

Senzor slouží ke kontrole úrovně nabití akumulátoru. Při startu vozidla regulátor alternátoru podle IBS zvýší hodnotu napětí na akumulátoru na 14,4 V a IBS senzor si během toho změří hodnoty akumulátoru. Poté na základě algoritmů vypočítává údaje o míře stárnutí a stavu dobití akumulátoru. V případě, že je akumulátor nabitý, regulátor sníží jeho napětí a využívá se proud z akumulátoru pro napájení palubní sítě. IBS senzor udržuje napětí akumulátoru pod určitou mezní hodnotou (u vozidel Škoda při teplotě 20 °C to je 70 %) z toho důvodu, aby se nezatěžoval motor alternátorem. Tento proces vede ke snížení spotřeby a tudíž ke snížení emisních požadavků. IBS tedy dovolí akumulátor nabíjet

například při jízdě z kopce, kdy se alternátor zatíží naplno a přebytečnou energii předává do akumulátoru. IBS senzorem jsou většinou vybaveny vozy podporující start-stop system. [5][7]

### 1.3 Alternátor

Přesné označení: Valeo FGT18T-159 (14 V, 180 A)

Alternátor patří do skupiny točivých elektrických strojů pracujících v generátorovém režimu. Jde tedy o tzv. elektrický generátor, který přeměňuje kinetickou energii rotačního pohybu na energii elektrickou ve formě střídavého proudu. Využívá se zde tedy princip magnetické indukce, kde stator je tvořen třífázovým vinutím, jehož cívky jsou vzájemně posunuty o  $120^\circ$  a vývody jsou připojeny k šestipulsnímu usměrňovači, který je připojen do okruhu s akumulátorem. Vzniklé napětí z usměrňovače vstupuje do regulátoru, který je součástí alternátoru. Poté regulátor řídí proud, který prochází budícím vinutím alternátoru (rotor). Rotor plní funkci stálého magnetu, a přestože je buzen stejnosměrným proudem, vytváří magnetické pole s měnící se polaritou. Důsledkem toho se ve statoru indukuje třífázový proud a napětí.

Alternátory se dělí do dvou základních skupin:

- 1) Alternátory podle buzení:
  - buzení permanentními magnety (jednodušší konstrukce, horší regulace),
  - buzení stejnosměrným proudem (automobily).
- 2) Alternátory podle počtu fází:
  - třífázové (velké výkony, automobily),
  - jednofázové (malé výkony, jednostopá vozidla).

Při startu vozidla je budící proud do budícího vinutí dostupný z akumulátoru vozidla. Během startování se alternátor nachází ve třech proudových stavech.

Prvním stavem je obvod předbuzení. V tomto stavu je alternátor pouze při rozběhu alternátoru z klidového stavu. Alternátor totiž nedosáhl dostatečně vysokých otáček na to, aby dodával do obvodu požadované napětí. Regulátor, který je součástí alternátoru, rovněž nemůže pracovat, jelikož nebylo dosaženo požadovaného napětí pro otevření diod. Je tedy zapotřebí získat proud do budícího vinutí z akumulátoru vozidla.

Další stav je obvod buzení, kterého se dosáhne při volnoběžných otáčkách. Tento stav nastane při běžném provozu alternátoru. Generované napětí zároveň dosahuje takové velikosti, aby překročilo prahové napětí diod usměrňovače. V tomto okamžiku se už reguluje napětí.

Posledním stavem je hlavní obvod. Alternátor zde začíná produkovat požadované napětí, které se reguluje napěťovým regulátorem. Hlavní proud alternátoru se rozdělí na proud, který napájí spotřebiče ve vozidle a na proud pro dobíjení akumulátoru. [2][3][4]

### 1.4 Regulátor napětí palubní sítě

Regulátor má za úkol udržovat napětí alternátoru v určeném rozsahu v závislosti na otáčkách nebo venkovní teplotě. Regulace napětí alternátoru probíhá vždy, změní-li se hodnota budícího proudu, která je závislá na otáčkách alternátoru. V případě zvyšování otáček bude docházet k odbuzování alternátoru (budící proud klesá), v opačném případě, kdy otáčky klesají, dochází k přibuzování (budící proud roste). Lze tedy tvrdit, že napětí alternátoru je funkcí budícího proudu. [2][3]

## 1.5 Analýza palubního akumulátoru

Zátěžový test spočíval v zatížení akumulátoru proudem a sledování jeho napětí. Test ukázal, že nabitý akumulátor se při zatížení 34 A vybije za 54 minut. Akumulátor má podle štítku kapacitu 68 Ah. Při teoretické úvaze by se měl při stejném zatížení vybit přibližně za 2 hodiny. Měření ale ukázalo, že se akumulátor vybije na hodnotu 10,5 V za 54 minut. Z toho lze usoudit, že kapacita akumulátoru je přibližně poloviční. Při zapnutém zapalování je odběr z akumulátoru průměrně 17 A. Během zapnutého zapalování by se měl akumulátor se 100 % kapacitou vybit přibližně za 1 hodinu a 48 minut. V tabulce 1.1 jsou předvedeny dosažené výsledky z vybíjení akumulátoru.

Tabulka 1.1: *Měření vybití akumulátoru A1*

Uvedená kapacita [Ah]	Zatěžovací proud [A]	Čas vybití [min]	Napětí vybitého aku. [V]
68	34	54	10,5

V tabulce 1.2 a 1.3 jsou uvedeny výsledné hodnoty napětí a proudu během startování vozidla vybaveného senzorem IBS. Pokud by vozidlo IBS senzor nemělo, hodnota napětí 14,4 V by se udržovala celou dobu kdy bude motor nastartovaný, jak u nabitého, tak vybitého akumulátoru. Tedy by do akumulátoru tekla neustále dobíjecí proud, který by se ale u nabitého akumulátoru měnil v teplo.

Tabulka 1.2: *Hodnoty odběru proudu a napětí nabitého akumulátoru s IBS*

Stav vozidla	Čas po nastartování (s)	Odebíraný proud (A)	Napětí na aku. (V)
15 ON, motor OFF	-	-16,97	12,38
Okamžik startu	-	-116,65	10,72
Volnoběh	5	+27,27	12,82
Volnoběh	10	+39,3	14,24
Volnoběh	20	-40,50	12,32
Volnoběh	120	-36,25	12,18

Tabulka 1.3 reprezentuje stejný průběh měření, avšak zde byl akumulátor vybitý.

Tabulka 1.3: *Hodnoty odběru proudu a napětí vybitého akumulátoru s IBS*

Stav vozidla	Čas po nastartování (s)	Odebíraný proud (A)	Napětí na aku. (V)
15 ON, motor OFF	-	-17,75	12,38
Okamžik startu	-	-70,79	10,72
Volnoběh	5	+105,1	14,07
Volnoběh	10	+122,5	14,19
Volnoběh	20	+129,1	14,31
Volnoběh	120	+127,8	14,25

Některé hodnoty, jako například odebíraný proud, v okamžiku startu u vybitého akumulátoru nejsou vypovídající, protože byly měřeny klešťovým ampérmetrem Fluke s označením 325 true-RMS. Pro měření napětí byl použit digitální multimetr značky APPA s označením 82 (R).

## 1.6 Analýza CAN komunikace

Pro analýzu signálu CAN komunikace byly vybrány signály, které mají vliv na funkci systému. Prvním signálem je signál o stavu svorky 15, nacházející se ve zprávě s identifikátorem ID, který bohužel nelze publikovat. Název zprávy také není možno publikovat, byl tedy použit název „Svorky“ a ID=X. Tato zpráva se v CAN komunikaci vysílá každých 100 milisekund. Délka dat této zprávy jsou 4 bajty. Jedná se o typ zprávy standard, tudíž zpráva má 11-bitový identifikátor. Vytipovaný signál o stavu svorky 15 taky nelze uvést, je tedy uveden název „KL 15“. Ve zprávě je umístěn na druhém bajtu a zabírá jeden bit. Signál je tedy jednobitový a jeho logická 1 reprezentuje zapnuté zapalování. Samotná zpráva má nevyužitých 7 bitů.

Druhým signálem je signál o otáčkách motoru, který rovněž není možno publikovat. ID a názvy budou proto ilustrační. Tento signál se nachází ve zprávě s identifikátorem ID=Y s názvem „Motor“. U této zprávy je délka dat 8 bajtů. Tato zpráva se, na rozdíl od předchozí, vysílá 10x rychleji, což odpovídá rychlosti 10 milisekund. Jako v minulém případě se taktéž jedná o typ zprávy standard. Signál o otáčkách motoru se jmenuje „Otáčky“. Ve zprávě je signál umístěn na 6. a 7. bajtu, a zároveň obsazuje všechny bity v daných dvou bajtech, tj. bity 48-63 v celé zprávě. Jedná se tedy o 16-bitový signál. Při změně o jednu otáčku se 16-bitový signál navýší o hodnotu 4. Hodnota 1 tedy u 16-bitového čísla odpovídá  $\frac{1}{4}$  otáčky. Celá CAN komunikace ve vozidle pracuje na rychlosti 500 kbit/s.

## 2 Návrh hardwaru a softwaru

V této kapitole je uveden důvod integrace systému managementu napájení s přídatným akumulátorem do vozidla, dále pak návrh realizace včetně výběru důležitých komponentů, a nakonec návrh na provedení softwarové části.

### 2.1 Funkční princip a důvod integrace

Požadovaný funkční princip stanoví, že přídatné systémy vozidla mají být napájeny přídatným akumulátorem A2, v závislosti na různých režimech vozidla. Pod přídatnými systémy je možné si představit výpočetní, měřicí nebo komunikační systémy, které mohou být umístěny ve vozidle nebo i mimo něj. Přídatný akumulátor se bude automaticky odpojovat nebo připojovat paralelně k palubnímu akumulátoru A1. Paralelní spojení akumulátorů je vyžadováno především z důvodu možného současného dobíjení akumulátorů. Rozpojení akumulátorů je potřeba právě tehdy, chceme-li testovat již zmíněné přídatné systémy napájené z přídatného akumulátoru. Důvodem rozdělení akumulátorů je, aby se během testů přídatných zařízení nevyužíval palubní akumulátor, u kterého je vyžadováno, aby dokázal vozidlo vždy nastartovat. Palubní akumulátor tedy napájí palubní systémy, pod kterými si lze představit odvětrávání a vyhřívání sedadel, ovládání klimatizace nebo posuvu oken. Režimy definující spojení nebo rozpojení akumulátorů jsou:

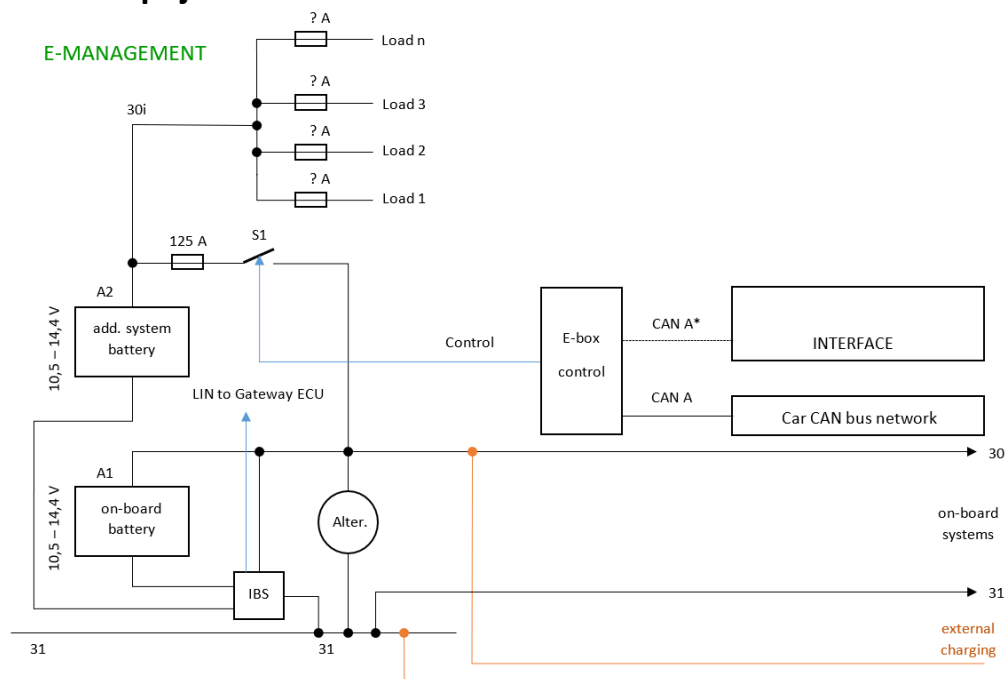
- sv. 15 neaktivní, vozidlo zamčeno, akumulátory spojeny paralelně,
- sv. 15 neaktivní, vozidlo odemčeno, akumulátory spojeny paralelně,
- sv. 15 aktivní, otáčky motoru jsou nulové, akumulátory rozpojeny, palubní akumulátor A1 napájí palubní systémy a přídatný akumulátor přídatné systémy,
- sv. 15 aktivní, motor nastartoval a zůstal na volnoběžných otáčkách, akumulátory stále rozpojeny,
- sv. 15 aktivní, motor běží na volnoběžné otáčky a po prošlápnutí plynového pedálu a dosažení  $1\,200\text{ ot/min}^{-1}$  se akumulátory spojí paralelně, alternátor napájí palubní i přídatné systémy a zároveň dobíjí oba akumulátory,
- sv. 15 neaktivní, motor zastavuje, akumulátory zůstanou spojeny paralelně.

Tyto podmínky režimů si lze představit jako proces startování vozidla. Přejdeme k zamčenému vozidlu, to následně odemkneme a v obou stavech budou akumulátory spojeny paralelně. Po zapnutí zapalování se akumulátory rozpojí. Během startování vozidla zůstanou akumulátory rozpojeny. Při dosažení definovaných otáček se akumulátory spojí paralelně a zůstanou spojeny, dokud se motor nezastaví.

Systémem, který zajišťuje přepínání stavu akumulátorů, je vývojový kit ESP32-EVB, který je umístěn ve vytvořeném E-boxu spolu s dalšími komponenty potřebnými a důležitými pro ovládání přepínání stavu akumulátorů.

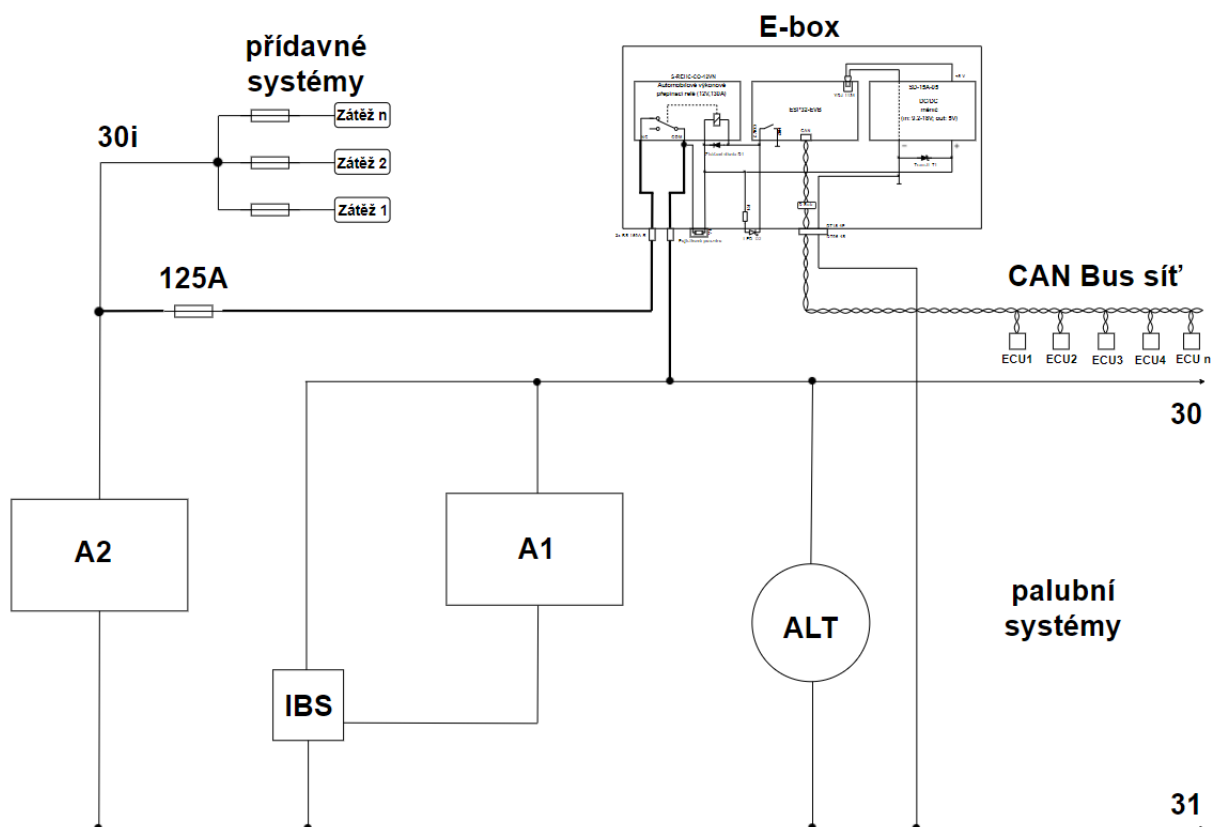


## 2.2 Schéma zapojení



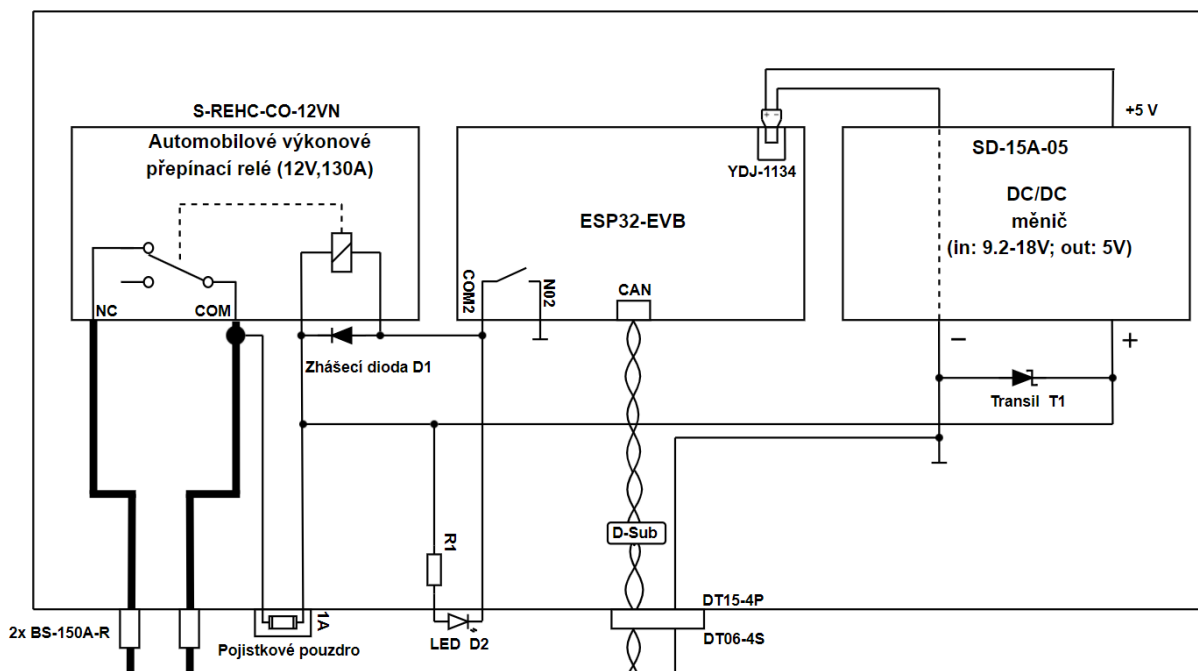
Obrázek 2.1: Doporučené blokové schéma zapojení

Na obrázku 2.1 je schéma, které bylo poskytnuto vedoucím BP. Podle schématu je přídatný akumulátor připojen k senzoru IBS. Po diskusi s vedoucím práce bylo dohodnuto, že přídatný akumulátor bude připojen na kostru vozidla (31), namísto k IBS senzoru. Smysl mít připojený přídatný akumulátor k senzoru IBS by byl tehdy, pokud bychom chtěli mít přídatný akumulátor trvale spojený paralelně s palubním akumulátorem a nedocházelo by k jejich rozpojování. Schéma sloužilo jako předloha pro návrh nového schématu s reálným zapojením řídicího systému ve vozidle zobrazeném na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Schéma zapojení managementu s více akumulátory

Provedení návrhu zapojení managementu napájení s více palubními akumulátory byl jedním z dílčích úkolů této práce. Zde je již přídatný akumulátor A2 připojen na kostru vozidla (31). V horní části obrázku se nachází vytvořený E-box, který je napájen ze svorky 30. Do E-boxu je přivedena CAN sběrnice pro čtení CAN zpráv a signálů, které slouží jako rozhodující hodnoty pro ovládání přepínání paralelního spojení akumulátorů. Dále je E-box připojen na přídatný akumulátor skrze odpojovač válcových pojistek obsahující válcovou pojistku o hodnotě 125 A. Nakonec lze vidět, že E-box je připojen na kostru vozidla (31).



Obrázek 2.3: Schéma zapojení E-boxu

Jeden silový vodič, na levé straně obrázku, slouží pro propojení přídatného akumulátoru s automobilovým výkonovým přepínacím relé (dále jen výkonové relé) zajišťující elektrické rozpojení nebo spojení akumulátorů. Druhý silový vodič napájí výkonové relé a DC/DC měnič, který slouží pro napájení vývojového kitu ESP32-EVB. Do E-boxu je pomocí jednoho konektoru přivedena CAN sběrnice a zemnicí vodič. Dále je na stěně E-boxu umístěna LED dioda signalizující rozpojený stav akumulátorů. Unipolární transil zaručuje ochranu proti přepětí a žášecí dioda omezuje indukované napětí způsobené při rozeptnutí výkonového relé. Pro ochranu proti přetížení slouží 1 A trubičková pojistka umístěná v pouzdře na stěně E-boxu.

## 2.3 Výběr komponentů

Tabulka 2.1: Použité komponenty pro realizaci zadání BP

Název	Označení	Výrobce
Přídavný akumulátor (A2)	-	-
Automobilové relé	S-REHC-CO-12VN	Tyco Electronic
Vývojový kit	ESP32-EVB	Olimex
DC/DC měnič 12 V/5 V	SD-15A-05	Mean Well
Laboratorní svorka (2ks)	BS-150A-R	-
Konektor připojení instalace	DT06-4S	Deutsch
Konektor panelu E-boxu	DT06-4P	Deutsch
Konektor výkonového relé	MCON 2pin-F	-
Konektor CAN	D-Sub CANON (9-pin)	KLS
Konektor 5 V	-	-
Odpojovač válcových pojistek	OPV22/1	OEZ
Unipolární transil T1	1N6377-E3/54	Vishay General Semiconductor

Dioda D1	1N4007	-
LED dioda D2	M.3030 R	Mentor
Rezistor (pro LED) R1	820 $\Omega$	-
Plastové pouzdro	U-01-41	Lapp

Tabulka obsahuje výčet všech důležitých komponentů potřebných pro realizaci zapojení. Následovat budou podkapitoly obsahující popis nejdůležitějších komponentů.

### Přídavný akumulátor A2

Tento akumulátor je s příměsí kalcia, tudíž využívá vápník pro vyšší pevnost desek a zabránění odpařování elektrolytu. Důvodem použití tohoto akumulátoru je, že se již používal pro testování různých systémů, takže se jen implementoval do vozidla. V BP plní funkci pro napájení přídavných systémů.

Štítkové informace:

- napětí: 12 V,
- kapacita: 64 Ah,
- záběrný proud: 540 A.

Tabulka 2.2: Měření vybití akumulátoru A2

Uvedená kapacita [Ah]	Zatěžovací proud [A]	Čas vybití [min]	Napětí vybitého aku. [V]
64	32	12	10,5

Stejně jako v kapitole 1.6, byl přídavný nabitý akumulátor podroben zátěžovému testu na zatěžovacím zařízení HIL. Akumulátor se zatěžoval proudem 32 A. V případě, že by tento akumulátor byl zcela nový, měl by se teoreticky vybit na hodnotu napětí 10,5 V přibližně za 2 hodiny. V našem případě se však na tuto hodnotu dostal za 12 minut. To vypovídá o jeho velice nízké kapacitě. Snížení kapacity je způsobeno častým používáním akumulátoru pro výuku a testování, během kterého již několikrát jeho hodnota napětí klesla hluboce pod 10,5 V. Z důvodu nízké kapacity je vhodné akumulátor vyměnit za nový.

### Automobilové výkonové přepínací relé

Pro zpracování BP bylo vybráno automobilové výkonové přepínací relé s označením S-REHC-CO-12VN, které je určeno ke spínání velkých zátěží. Relé je napájeno 12 VDC. V režimu stálého proudu spíná do 130 A, v režimu špičkového proudu do 300 A po dobu 3 sekund. Relé je odolné vůči vibracím, vlhkosti a teplotám od - 40 °C do + 125 °C. Stupeň krytí je IP54. K tomuto relé byl dokoupen příslušný konektor s označením MCON 2pin-F. Výkonové relé bylo nejlepší variantou v poměru spínaný proud / cena / velikost. Relé pro větší proud by svou velikostí a cenou už nebylo vhodné pro řešení BP. V práci slouží pro elektrické spojení nebo rozpojení akumulátorů. [8]



Obrázek 2.4: Automobilové výkonové přepínací relé

### Vývojový kit ESP32-EVB

Tento vývojový kit ESP32-EVB od firmy Olimex byl pro experiment vybrán, jelikož periférie umístěné přímo na kitu vyhovují danému řešení. Vývojový kit reprezentuje řídicí systém, protože má integrovaný mikrokontrolér, ve kterém je uložený řídicí program. Kit také obsahuje dvě přepínací relé pro ovládání zařízení s vyšším výkonem. Jedno z nich poslouží pro rozepnutí kontaktů výkonového relé, které zajišťuje elektrické spojení akumulátorů. Velká škála vybavení vývojového kitu pro různá rozhraní by v případě rozšíření funkce systému mohla posloužit například pro ovládání vozidla pomocí mobilního telefonu. [10]



Obrázek 2.5: Vývojový kit ESP32-EVB

### DC/DC měnič

Pro napájení vývojového kitu ESP32-EVB byl vybrán DC/DC měnič napětí s označením SD-15A-05 od firmy Mean Well. Měnič je vybaven ochranou proti zkratu, přetížení a přepětí. Na vstup měniče lze připojit stejnosměrné napětí v rozmezí 9,2 – 18 V. Měnič je dimenzován na maximální výkon až 15 W a maximální proud 3 A. Vyšší hodnota maximálního výkonu je užitečná do budoucna, pokud by se měla funkčnost systému rozšiřovat a bylo by třeba napájet další systém. Účinnost u tohoto měniče je větší než 96 %. [9]



Obrázek 2.6: DC/DC měnič stejnosměrného napětí

### Konektory

Pro hardwarové řešení bylo zapotřebí 5 různých konektorů. Prvním je dvoupinový konektor s označením MCON 2pin-F. Tento konektor patří k automobilovému výkonovému přepínacímu relé. Dalším je konektor XXX, který slouží pro napájení vývojového kitu.

Třetím konektorem je D-Sub CANON (vidlice). Konektor byl nejvíce využíván při programování a ladění SW části. V E-boxu je umístěn, aby v případě rozšíření nebo změny systému měl programátor pohodlný přístup na CAN rozhraní umístěném na vývojovém kitu.

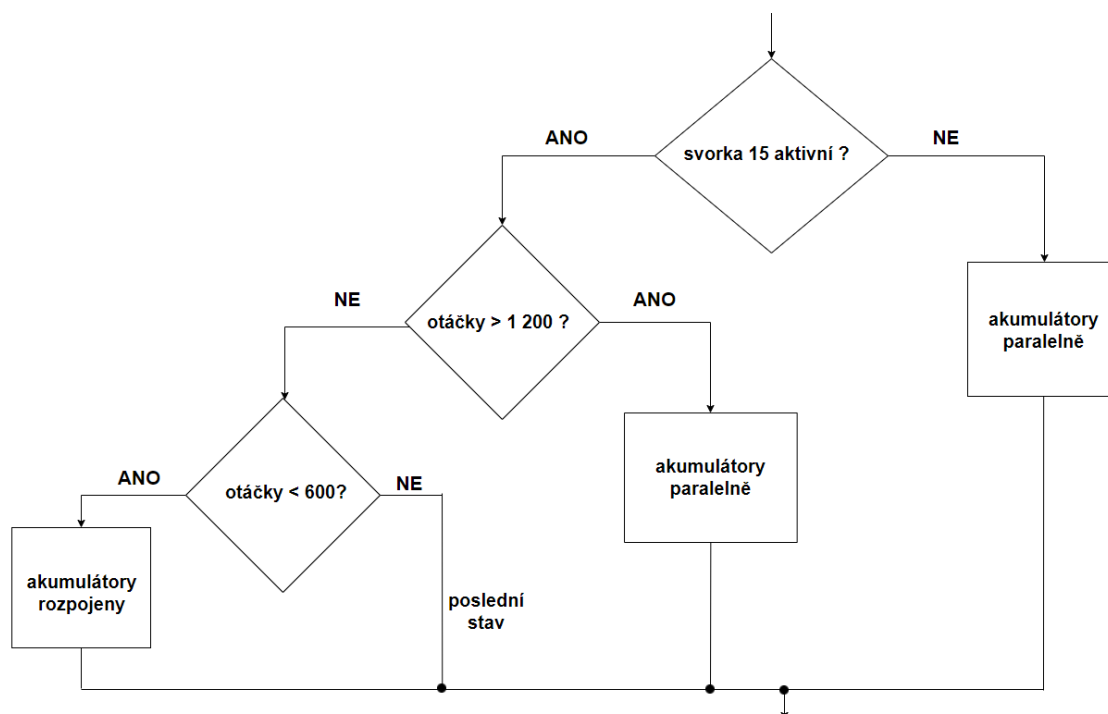
Poslední konektory jsou od firmy Deutsch s označením DT06-4S a jeho protikus DT06-4P. Tyto konektory slouží pro přivedení CAN sběrnice do E-boxu a jeho uzemnění. Konektory jsou čtyřpinové ale obsazené mají jen 3 piny.

### Ostatní komponenty

V této podkapitole je výčet komponent, na které se nedostala vlastní podkapitola. Patří zde LED dioda s označením M.3030R od firmy Mentor, sloužící pro indikaci rozpojeného stavu akumulátoru a k ní příslušný rezistor o velikosti 820  $\Omega$ . Dále pak žáhející dioda 1N4007, která má za úkol absorbovat špičkové indukované napětí při odpojení cívky ve výkonovém relé. Pojistkové pouzdro s označením LS-606, ve kterém se nachází trubičková pojistka o velikosti 1 A. Unipolární transil (1N6377-E3/54), který chrání DC/DC měnič před přepětovými špičkami z instalace vozidla. Dva kusy přístrojových svorek (BS-150A-R), které jsou dimenzovány na jmenovitý proud až 150 A. Dalším komponentem je plastová (ABS plast) instalační krabice tzv. E-box (U-01-41) o rozměrech 200x150x77 mm, ve které jsou všechny komponenty dostatečně pevně umístěny. Posledním komponentem je odpojovač válcových pojistek, který slouží jako ochrana proti zkratu při styku kladného silového vodiče přídatného akumulátoru na kostru.

## 2.4 Arduino IDE

Pro napsání algoritmu programu bylo vybráno vývojové prostředí Arduino IDE. Vývojové prostředí podporuje nespočet vývojových kitů, včetně ESP32-EVB. Je snadné se v něm orientovat a programovací jazyk je postaven na základech C++. Předlohou pro napsání programu byl vývojový diagram, který je uveden na obrázku 2.7 níže.



Obrázek 2.7: Vývojový diagram

Tento vývojový diagram znázorňuje chování systému podle požadavků na algoritmus dle popisu v kapitole 2.1. Proces znázorněný na diagramu se neustále opakuje a kontroluje stav zapalování, jestli je zapnuté nebo vypnuté, a kontroluje hodnotu otáček motoru. Na základě požadavků uvedených v kapitole 2.1 se v programu iniciuje proces pro přepnutí relé umístěného na vývojovém kitu, které následně rozepne výkonové relé.

## 2.5 Hazardní stavy

V této podkapitole se rozeberou nebezpečné stavy, které by mohly, ať už náhodou nebo při špatné manipulaci, nastat. Jedná se zejména o přepětí, vnitřní zkrat, přerušená CAN komunikace, vnější zkrat, záměna silových vodičů připojených na E-box.

S přepětím se lze setkat v případě, kdyby se například na E-boxu objevilo vyšší napětí než 18 V. Do této hodnoty pracuje DC/DC měnič správně. Použitý unipolární transil při hodnotě napětí 20,1 V vede proud 1 A. Při hodnotě například 25 V by použitý unipolární transil vytvořil zkrat pro převyšujících 5 V. Tím pádem vznikne velký proud, který způsobí odpálení 1 A pojistky v pojistkovém pouzdře.

DC/DC měnič je vybaven ochranou proti přetížení, čímž je ošetřen vnitřní zkrat vývojového kitu. Vnitřní zkrat měniče je ošetřen pomocí pojistky 1A.

Při přerušení CAN komunikace, která by mohla nastat například vytržením CAN sběrnice, zůstane automobilové výkonové přepínací relé ve stavu, ve kterém došlo k přerušení komunikace. Pokud tedy dojde ke ztrátě CAN zpráv při zapnutém zapalování, akumulátory zůstanou rozpojeny. Při ztrátě komunikace při vypnutém zapalování zůstanou akumulátory spojeny paralelně.

Vnější zkratem je myšleno, propojení vodiče kladného pólu přídavného akumulátoru s kostrou vozidla. V tomto okamžiku by došlo k přerušení pojistky 125 A v odpojovači.

Pokud dojde k záměně silových vodičů přivedených na laboratorní svorky E-boxu, tak se nestane nic a E-box bude nadále fungovat. Předpokládá se přitom přítomnost obou akumulátorů ve vozidle.

## 2.6 Možné stavy akumulátorů

U testovacího vozidla, kde bude implementován přídatný akumulátor A2 a funkční řídicí systém pro spojení nebo rozpojení obou akumulátorů paralelně, může dojít vlivem různého zatěžování systémů ke čtyřem rozlišným stavům nabití akumulátorů.

První stav, se kterým se může uživatel setkat, je zároveň neoptimálnější. Jedná se o stav, kdy jsou oba akumulátory nabité na svou maximální hodnotu SOC (State Of Charge). Pro nabíjení akumulátorů během BP se používala elektrická nabíječka BOSCH BAT 415. U této nabíječky se nastaví hodnota Ah podle hodnoty uvedené na akumulátoru. Jelikož jsou v experimentu použity dva akumulátory, sečte se jejich hodnota kapacity a nastaví na nabíječce. Akumulátory se mají nabíjet proudem o velikosti desetiny hodnoty nastavené kapacity. V našem případě se na nabíječce nastavilo 132 Ah. Teoreticky by se akumulátory měly nabít za deset hodin. Po ukončení testování na vozidle se akumulátory připojí na elektrickou nabíječku a další den jsou akumulátory připravené k použití. Nabíječka sama pozná, že akumulátory jsou nabité a přestane dodávat proud. U vozidel vybavených IBS senzorem se elektrická nabíječka připojuje na kladný pól akumulátoru a zemnicí bod vozidla.

Druhý stav nastane, když hlavní akumulátor A1 bude vybitý a přídatný A2 nabitý. Tohoto stavu se teoreticky dosáhne v případě, že zátěž na A2 bude nulová a zůstane pouze zapnuté zapalování po dobu čtyř hodin, kdy se z palubního akumulátoru A1 odebírá průměrně 17 A. Prakticky bychom ale použité akumulátor A1 vybili při stejném odběru za necelé dvě hodiny. To je zapříčiněno sníženou kapacitou akumulátoru. U tohoto stavu se musí dbát na to, aby se hodnota napětí palubního akumulátoru nedostala pod hodnotu cca 10 % SOC, jinak by hrozilo, že vozidlo nenastartuje.

Další stav je pravděpodobně nejčastější. Jedná se o stav, kdy palubní akumulátor A1 bude nabitý a přídatný A2 vybitý. Stav nastane v případě zapnutého zapalování a odběru na přídatných zařízeních mnohem větším než odběr palubní sítě. Přídatné systémy můžou při některých testech odebírat 50 A a více.

Posledním možným stavem, který může nastat, je stav nejméně žádoucí. A to takový, že budou oba akumulátory zcela vybité. Tento stav může nastat v okamžiku, kdy byly oba akumulátory zatěžovány a nebyly po ukončení testů připojeny na elektrickou nabíječku. V případě, že napětí akumulátorů klesne pod hodnotu 10,5 V, by se měly co nejrychleji dobít, aby nedošlo k sulfataci, která snižuje jejich kapacitu.

Po dlouhém zatěžování akumulátorů, kdy se očekává, že jsou vybité, by se měly připojit na elektrickou nabíječku, aby byly další den připraveny opět k používání.

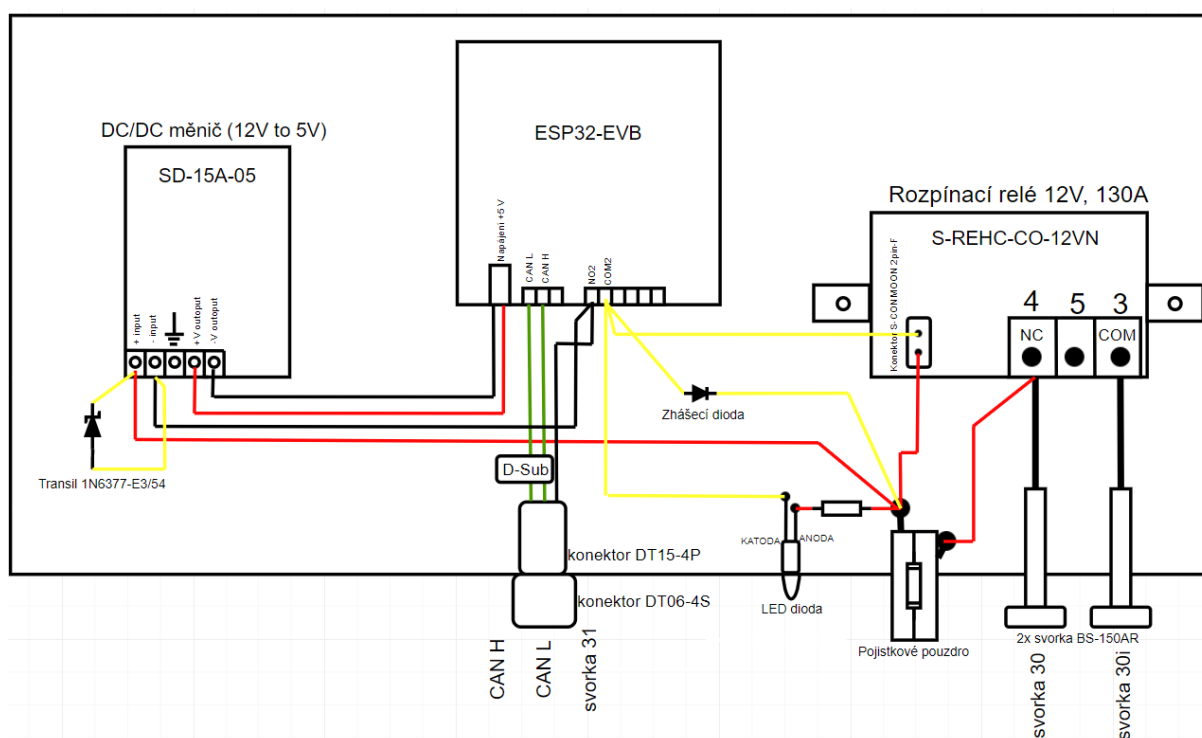


### 3 Realizace hardwaru a softwaru

Třetím úkolem práce bylo prakticky realizovat navržené zapojení. Do E-boxu byl instalován řídicí systém spolu s dalšími komponenty. Následně pak byl E-box umístěn a integrován do vozidla.

### 3.1 Praktické schéma zapojení

Na obrázku níže lze vidět praktické zapojení E-boxu. Barvy použitých vodičů souhlasí s reálným zapojením až na CAN sběrnici, která je ve schématu znázorněna zeleně. Rozložení jednotlivých komponentů ve schématu je pouze ilustrační pro lepší orientaci a nesouhlasí tedy s reálným rozložením. Některé vodiče jsou ke komponentům připájeny. Jedná se o pojistkové pouzdro, LED diodu společně s rezistorem, D-Sub konektor, a nakonec poslední pájenou součástkou je transil. Ostatní komponenty jsou vybaveny svorkovnicí nebo se jedná o konektor.



Obrázek 3.1: *Praktické schéma zapojení E-boxu*

### 3.2 Realizace praktického zapojení

Na obrázku 3.2 je znázorněné reálné zapojení komponentů uvnitř E-boxu. Většina použitých vodičů má průřez 0,75 mm<sup>2</sup> s výjimkou silových vodičů propojujících laboratorní svorky s výkonovým relé (6 mm<sup>2</sup>) a kroucené dvoulinky CAN Bus. Na stěně E-boxu se nachází dvě laboratorní svorky. Na černou laboratorní svorku je přivedena silovým vodičem o průřezu 25 mm<sup>2</sup> svorka 30i. Druhý konec černé laboratorní svorky je silovým vodičem přiveden na kontakt COM automobilového výkonového přepínacího relé. Na červenou laboratorní svorku je silovým vodičem s průřezem 25 mm<sup>2</sup> přivedena svorka 30, což je hlavní uzel pro napájení E-boxu. Z druhého konce červené laboratorní svorky je veden opět silový vodič, který je přiveden na kontakt NC výkonového relé, čímž ho napájí. Ze stejného kontaktu je přiveden vodič na jeden kontakt pojistkového pouzdra. Z tohoto bodu se pak rozvádí stejnosměrné napětí 12 V všude, kde je potřeba (tzn. LED dioda, konektor výkonového relé a kontakt

COM2 relé umístěného na kitu). Také je z tohoto uzlu stejnosměrným napětím 12 V napájen DC/DC měnič. Ten napětí 12 VDC sníží na 5 VDC a napájí vývojový kit ESP32-EVB. Na vstup DC/DC měniče je zapojen unipolární transil, který chrání DC/DC měnič před napěťovými špičkami. Dioda D1 v zapojení omezuje indukované napětí při odpojení cívky výkonového relé. LED dioda umístěná na stěně E-boxu je připojena na spínací kontakt přepínacího relé umístěného na vývojovém kitu. V případě přepnutí tohoto relé se LED dioda rozsvítí a indikuje stav rozpojených akumulátorů. S LED diodou je zapojen do série rezistor o velikosti 820  $\Omega$ . Z konektoru DT15-4P jsou vodiče pro CAN komunikaci vyvedeny na 2. (CAN Low) a 7. (CAN High) pin CANON konektoru. Ze stejných pinů pak dvoulinka pokračuje na svorkovnici CAN umístěnou na vývojovém kitu. Pro případné rozšíření nebo změnu funkce v budoucnu je konektor D-sub CANON vhodným doplňkem uvnitř E-boxu.

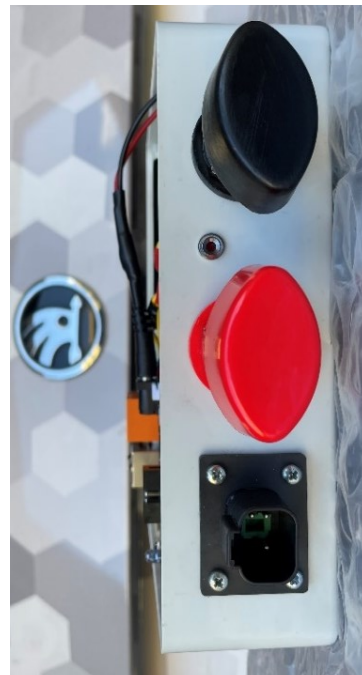


Obrázek 3.2: Zkompletovaný E-box

Na obrázku 3.2 je pohled na vnitřní zapojení E-boxu. DC/DC měnič je uložen pod vývojovým kitem s dostatečnou ( $> 1$  cm) vzduchovou mezerou. Níže na obrázku 3.3. je pohled na čelo E-boxu a na vedlejším obrázku 3.4 je znázorněno zapojení v zavazadlovém prostoru v místě rezervy. Místo rezervy byla integrována kulatá překližka. Na ní se nachází přídatný akumulátor, odpojovač válcových pojistek a samotný E-box. Všem třem částem je zabráněno v náhodném posuvu.



Obrázek 3.3: Umístění E-boxu ve vozidle



Obrázek 3.4: Čelní panel E-boxu

### 3.3 Softwarová část

Na začátku programu jsou přidány tři knihovny potřebné pro spuštění a funkci programu. Následuje definice globálních proměnných, kterými jsou *otacky*, *sv15* a *my\_counter*. V setupu je nastavena rychlost bit-rate na 500 kb/s, definice dvou pinů na desce patřící malému relé a inicializace výstupu relé v případě nepřipojené CAN sběrnice.

V hlavní smyčce programu se přijímají veškeré CAN zprávy a filtrují se podle typu zprávy (standard/extended) a podle hodnoty identifikátoru ID. Jestliže se objeví zpráva s ID odpovídající sorce 15, program si přečte jednobitovou hodnotu signálu. Pokud se přijaté ID shoduje s ID pro zprávu o otáčkách motoru, program si přečte 2 bajty hodnoty otáček. Hodnotu následně vydělí čtyřmi, protože formát zprávy je  $\frac{1}{4}$  otáčky na bit. Po přečtení otáček motoru se pomocí jednoduchých podmínek určuje, zda se relé, umístěné na vývojovém kitu, přepne nebo ne. Podmínky jsou odvozené od hodnoty otáček a stavu zapalování odpovídající zadání v kapitole 2.1.

```

16:57:23.330 -> -----
16:57:23.609 -> sv15 VYP
16:57:23.609 -> Otacky jsou: 0
16:57:23.609 -> lsoff Rele ESP VYP
16:57:23.609 -> -----
16:57:23.892 -> sv15 ZAP
16:57:23.892 -> Otacky jsou: 0
16:57:23.892 -> Rele ESP ZAP
16:57:23.940 -> -----
16:57:24.172 -> sv15 ZAP
16:57:24.172 -> Otacky jsou: 0
16:57:24.172 -> Rele ESP ZAP
16:57:24.172 -> -----
16:57:24.405 -> sv15 ZAP
16:57:24.405 -> Otacky jsou: 150
16:57:24.405 -> Rele ESP ZAP
16:57:24.405 -> -----
16:57:24.686 -> sv15 ZAP
16:57:24.686 -> Otacky jsou: 331
16:57:24.686 -> Rele ESP ZAP
16:57:24.686 -> -----
16:57:24.921 -> sv15 ZAP
16:57:24.921 -> Otacky jsou: 963
16:57:24.921 -> Posledni stav
16:57:24.921 -> -----
16:57:25.201 -> sv15 ZAP
16:57:25.201 -> Otacky jsou: 776
16:57:25.201 -> Posledni stav
16:57:25.201 -> -----
16:57:25.439 -> sv15 ZAP
16:57:25.439 -> Otacky jsou: 733
16:57:25.439 -> Posledni stav
16:57:25.439 -> -----
16:57:25.675 -> sv15 ZAP
16:57:25.675 -> Otacky jsou: 719
16:57:25.675 -> Posledni stav
16:57:25.675 -> -----
16:57:25.952 -> sv15 ZAP
16:57:25.952 -> Otacky jsou: 735
16:57:25.952 -> Posledni stav
16:57:25.952 -> -----
16:57:26.187 -> sv15 ZAP
16:57:26.187 -> Otacky jsou: 743
16:57:26.187 -> Posledni stav
16:57:26.187 -> -----
16:57:26.468 -> sv15 ZAP

```

Obrázek 3.5: Výstup programu v prostředí Arduino IDE

Na obrázku 3.5 lze vidět výstupní okno programu v prostředí Arduino IDE. V bodě (1) bylo vozidlo odemčené při vypnutém zapalování. Text „Rele ESP VYP“ znamená, že relé kitu je ve své klidové poloze (kontakty rozepnuty) a tedy výkonové relé je rovněž v klidové poloze (kontakty sepnuty), akumulátory spojeny paralelně. V bodě (2) došlo k zapnutí zapalování, což iniciovalo sepnutí relé kitu (popis Rele ESP ZAP), které způsobí rozepnutí kontaktů výkonového relé a akumulátory se rozpojí. Poté se nastartoval motor (3) a po chvíli se ustálily volnoběžné otáčky (4). Popis pokračuje na další straně obrázkem 3.6.

```

BP_Michenka | Arduino 1.8.13
COM3
16:57:26.700 -> Otacky jsou: 701
16:57:26.700 -> Posledni stav
16:57:26.700 -> -----
16:57:26.980 -> sv15 ZAP
16:57:26.980 -> Otacky jsou: 957 5
16:57:26.980 -> Posledni stav
16:57:26.980 -> -----
16:57:27.216 -> sv15 ZAP
16:57:27.216 -> Otacky jsou: 1131
16:57:27.216 -> Posledni stav
16:57:27.216 -> -----
16:57:27.497 -> sv15 ZAP
16:57:27.497 -> Otacky jsou: 1350 6
16:57:27.497 -> 1 200 Rele ESP VYP
16:57:27.497 -> -----
16:57:27.731 -> sv15 ZAP
16:57:27.731 -> Otacky jsou: 1501
16:57:27.731 -> 1 200 Rele ESP VYP
16:57:27.731 -> -----
16:57:27.967 -> sv15 ZAP
16:57:27.967 -> Otacky jsou: 1570
16:57:27.967 -> 1 200 Rele ESP VYP
16:57:27.967 -> -----
16:57:28.247 -> sv15 ZAP
16:57:28.247 -> Otacky jsou: 1632
16:57:28.247 -> 1 200 Rele ESP VYP
16:57:28.247 -> -----
16:57:28.481 -> sv15 ZAP
16:57:28.481 -> Otacky jsou: 1548
16:57:28.481 -> 1 200 Rele ESP VYP
16:57:28.481 -> -----
16:57:28.759 -> sv15 ZAP
16:57:28.759 -> Otacky jsou: 1114
16:57:28.759 -> Posledni stav
16:57:28.759 -> -----
16:57:28.993 -> sv15 ZAP
16:57:28.993 -> Otacky jsou: 794
16:57:28.993 -> Posledni stav
16:57:28.993 -> -----
16:57:29.273 -> sv15 ZAP
16:57:29.273 -> Otacky jsou: 707
16:57:29.273 -> Posledni stav
16:57:29.273 -> -----
16:57:29.506 -> sv15 VYP
16:57:29.506 -> Otacky jsou: 695 7
16:57:29.506 -> 15off Rele ESP VYP
16:57:29.506 -> -----

```

☐ Automatické scrollování
 ☒ Zobrazit časové razítko
 Nová řádka (NL)
 115200 baudů
 Vymazat výstup

Obrázek 3.6: Výstup programu v prostředí Arduino IDE

V bodě (5) došlo k sešlápnutí plynového pedálu a ve chvíli přesáhnutí  $1\,200\text{ ot/min}^{-1}$  (6) se relé kitu přepnulo zpět do klidové pozice, což iniciovalo přepnutí výkonového relé také do klidové pozice, a akumulátory jsou tedy paralelně spojeny.



## 4 Experimentální ověření

Pro experimentální ověření funkčnosti byl použit digitální osciloskop Siglent s označením SDS 1104X-E a softwarové prostředí CANoe 13.0 SP2. Cílem experimentálního ověření je prokázání funkčnosti řídicího systému managementu napájení. Při experimentálním měření byl také změřen klidový odběr E-box, který je cca 95 mA.

### 4.1 Měření digitálním osciloskopem

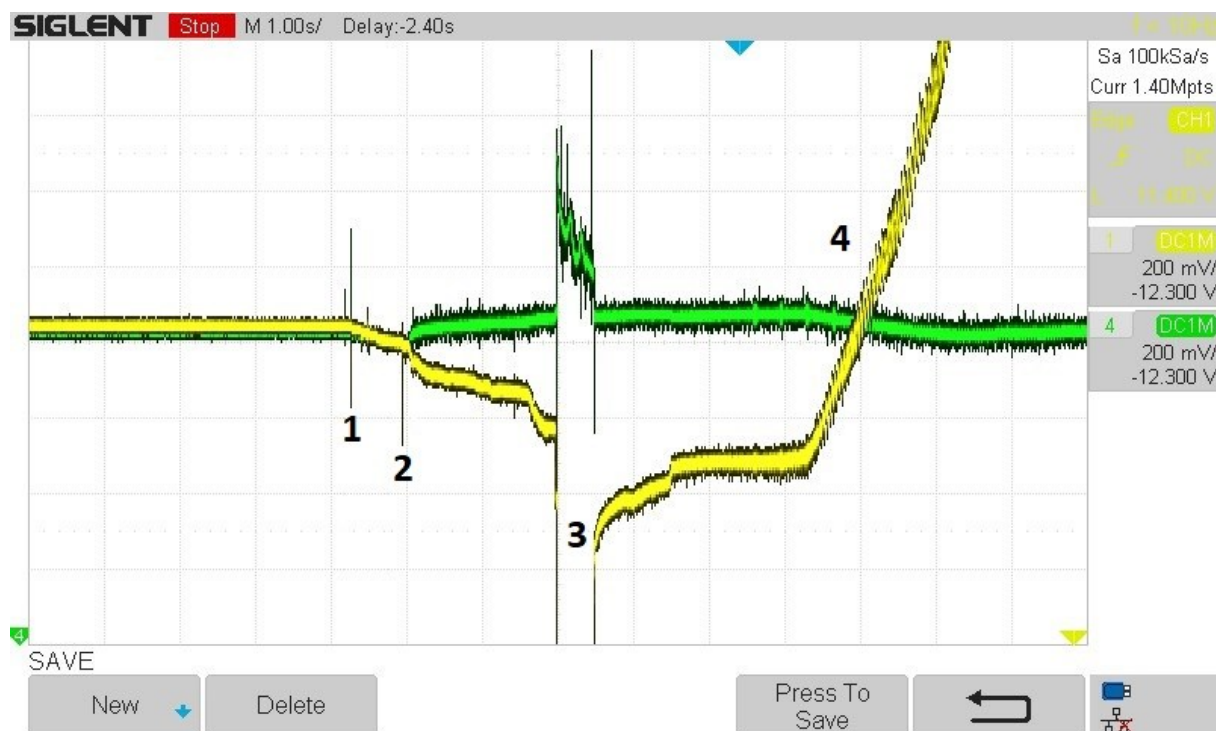
Pro měření byly využity dva kanály osciloskopu. Na jeden kanál se připojil kladný a záporný pól palubního akumulátoru, na druhý kanál se připojil kladný a záporný pól přidavného akumulátoru. Na obrázcích z osciloskopu kanál 1 (žlutý) odpovídá palubnímu akumulátoru A1 a kanál 4 (zelený) patří přidavnému akumulátoru A2. Zachycené průběhy zobrazují změnu napětí na akumulátorech.



Obrázek 4.1: Průběh napětí na akumulátorech A1 a A2 při startu a zastavení motoru

Na obrázku 4.1 lze vidět, že v bodě (1) byly akumulátory spojeny paralelně, tudíž mají stejnou hodnotu napětí. V bodě (2) došlo k zapnutí zapalování, což iniciovalo jejich rozpojení. V tom okamžiku došlo vlivem zapnutí palubních systémů k poklesu napětí na A1. Od tohoto okamžiku se zároveň nebude měnit hodnota napětí A2, dokud nebude dosaženo definovaných otáček (1 200 ot/min). V bodě (3) se nastartoval motor. U bodu (4) lze vidět nárůst napětí A1 až k hodnotě přibližně 14,4 V, kde zůstala po dobu přibližně 5 vteřin (5). Za chvilkové udržení hodnoty 14,4 V může senzor IBS, který nastavil napětí na tuto hodnotu, zkontroloval si stav nabití akumulátoru a poté napětí snížil (6). V bodě (7) došlo k prošlápnutí plynového pedálu a dosažení definovaných otáček. V tu chvíli se akumulátory spojily paralelně, tudíž jejich hodnota napětí bude stejná. V bodě (8) došlo k prošlápnutí plynového pedálu jako ukázka, že napětí na obou akumulátorech je totožné. V předposledním bodě (9) došlo k vypnutí motoru a tím pádem i k vypnutí zapalování. Akumulátory po vypnutí zůstanou spojeny paralelně dokud

nedojde k dalšímu zapnutí zapalování. V bodě (10) hodnota napětí na akumulátorech začala pomalu klesat.

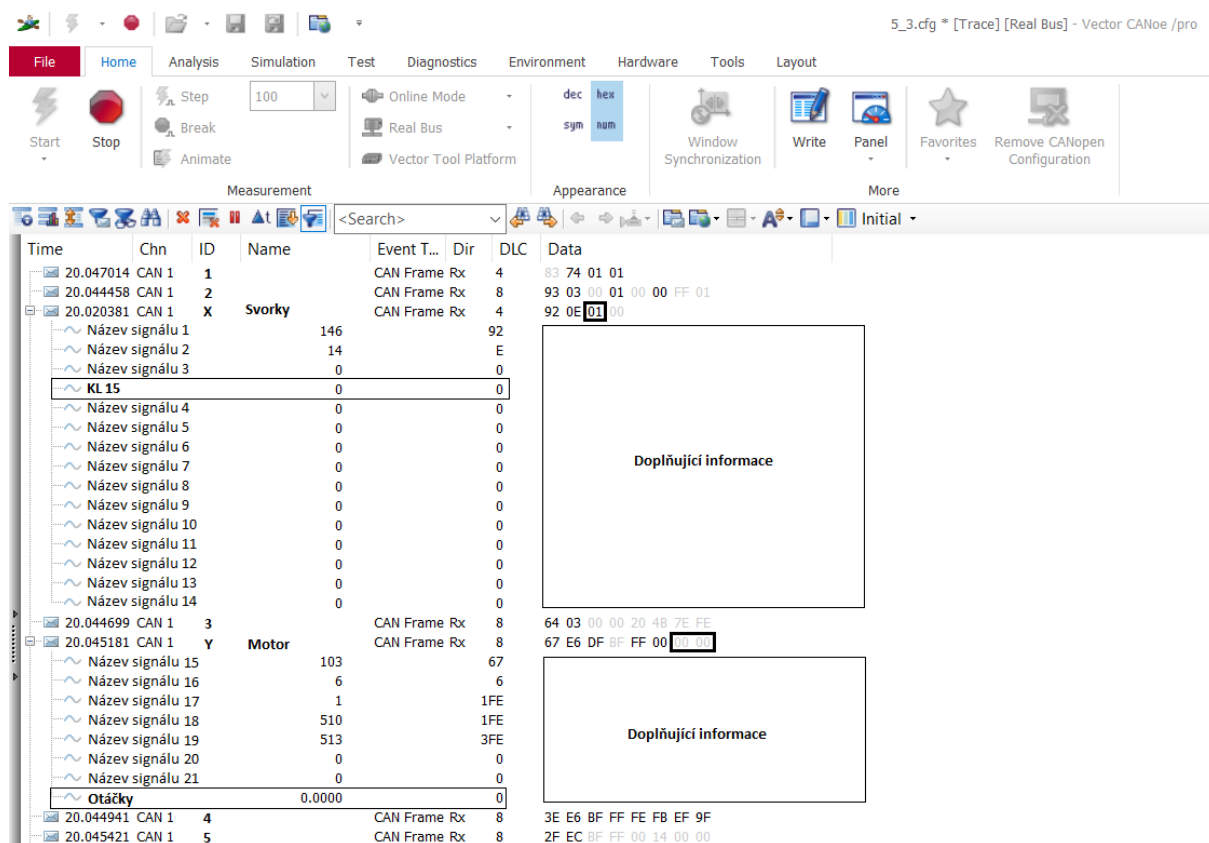


Obrázek 4.2: Průběh napětí na akumulátorech A1 a A2 při startu motoru

Obrázek 4.2 slouží jako detailní pohled na okamžik zapnutí zapalování a start motoru. V bodě (1) došlo k zapnutí zapalování. Napětí začíná klesat, protože spotřebiče odebírají proud z obou akumulátorů. Po několika stovkách milisekund dojde k mechanickému přepnutí výkonového relé (2) a akumulátory se rozpojí. V bodě (3) došlo ke startu motoru, lze vidět hluboký pokles napětí na A1 a rušivé napětí na A2. Bod (4) znázorňuje růst napětí A1 až k hodnotě 14,4 V (v obrázku není tato hodnota zachycena) a neměnné napětí na A2.

## 4.2 Ověření programem CANoe

Účelem tohoto měření bylo znázornit zapnutí zapalování a nastartování motoru. Program CANoe slouží pro modelování a simulace automobilových elektronických systémů. Kromě modelování a simulace, lze pomocí něj číst zprávy a signály z CAN sběrnice, které se zobrazují v okně Trace. Pro spojení CAN sběrnice vozidla s počítačem byl použit převodník od firmy VECTOR s označením VN1630A. Jelikož se jedná o neveřejné informace, budou následující názvy zpráv a signálu pozměněny.

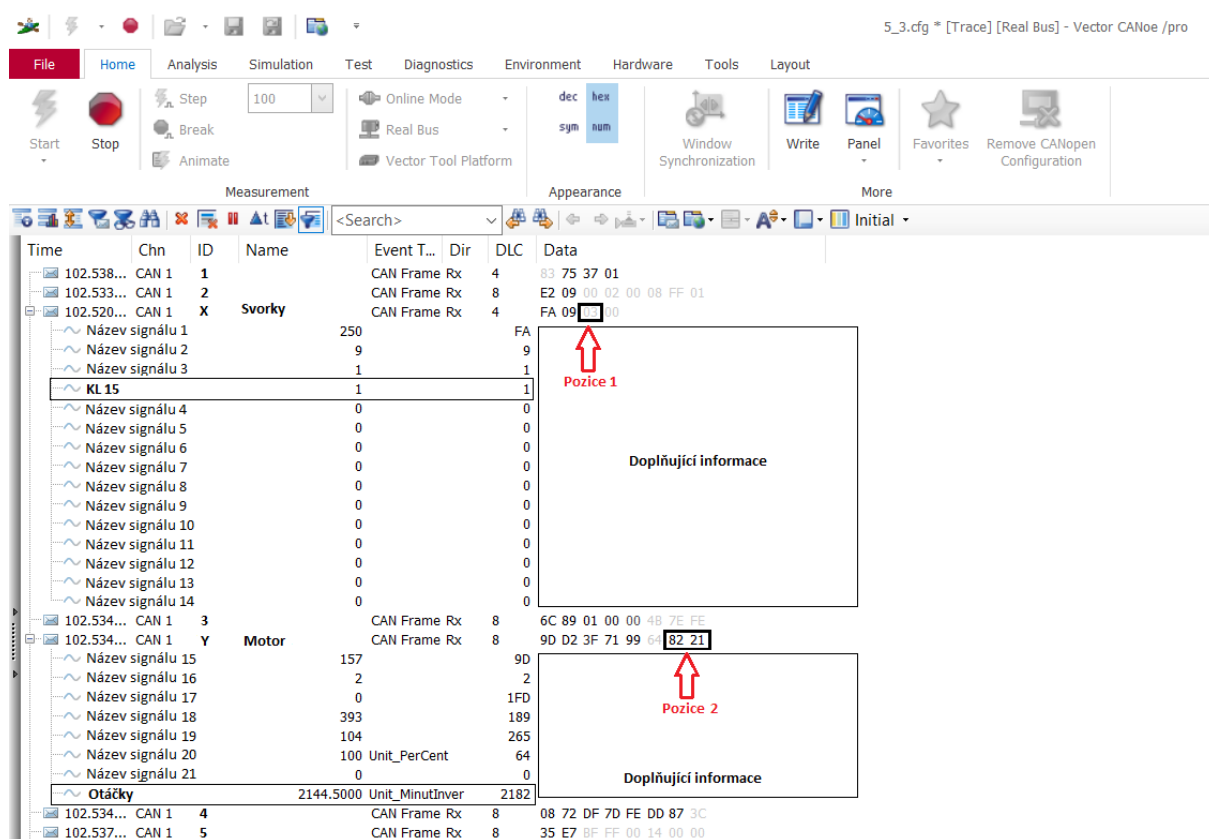


Obrázek 4.3: Ukázka programu CANoe, vypnuté zapalování a motor

Jelikož se jedná o neveřejné informace, není možné předložit přesný snímek se zobrazenými signály, zprávami a jejich popisem.

V programu CANoe se během zapnutého zapalování vyčetlo několik CAN zpráv a jim příslušící signály. Systém pracuje se signálem otáček motoru obsažený ve zprávě s ID Y. Zpráva informující o stavu svorky 15 se nachází pod ID X. Na obrázku 4.3 je zobrazen stav vozidla s vypnutým zapalováním.





Obrázek 4.4: Ukázka programu CANoe, zapnuté zapalování a vytočené otáčky

Na obrázku 4.4 je zachycen stav vozidla, kdy otáčky motoru jsou 2 144 ot/min<sup>-1</sup>. Tomu odpovídá hexadecimální hodnota posledních dvou bajtů zprávy Motor (pozice 2). Zapalování je nyní zapnuté, tudíž se hodnota druhého bajtu ve zprávě Svorky změnila z 01 na 03 (pozice 1). Zapnutému zapalování odpovídá změna logické 0 na logickou 1 u signálu KL 15.

## 4.3 Technická dokumentace vozidla

Uživatelská příručka vozidla je součástí bakalářské práce.

### 4.3.1 Důvod integrace řídicího systému

Vozidlo Škoda Superb combi III. generace slouží pro praktickou výuku studentů. Na vozidle jsou praktikovány různé projekty školy, které slouží k testování a vyvíjení automobilových systémů. Tyto činnosti probíhají v několika rozdílných režimech automobilu. To znamená, že testy na vozidle se provádí s vypnutým nebo zapnutým zapalováním, popřípadě s nastartovaným nebo nenastartovaným motorem.

Důvodem vytvoření řídicího systému je ovládat paralelní spojení palubního a přídatného akumulátoru na základě režimu automobilu. Při testování přídatného systému (PS) se zapnutým zapalováním se stane napájecím zdrojem pro PS přídatný akumulátor A2. Palubní akumulátor se tedy nebude zbytečně vybíjet přídatnou zátěží. To je podstatné, jelikož pokud by se hodnota nabití palubního akumulátoru dostala pod cca 10 % SoC, mohlo by dojít k marnému pokusu nastartovat vozidlo. Jednotlivé režimy vozidla a požadovaný stav akumulátorů je podrobně rozebrán v kapitole 2.1.

### 4.3.2 Popis integrace

Při integraci systému managementu napájení s přídatným akumulátorem se v prvním kroku navrhlo hardwarové řešení. Do tohoto řešení zapadá nakreslení schémat zapojení řídicího systému a výběr komponentů potřebných pro ovládání. Následně byl proveden návrh vývojového diagramu softwarového řešení systému a výběr vývojového prostředí, ve kterém se bude systém odlaďovat.

Jednotlivé komponenty byly po výběru a zakoupení uloženy do E-boxu. E-boxem je myšlena plastová instalační krabice. Následně byly komponenty propojeny na základě schémat zapojení. Vytvořený program v prostředí Arduino IDE byl nahrán do mikropočítače nacházejícího se na vývojovém kitu ESP-32EVB.

Po zkompletování E-boxu následovala integrace do vozidla. Po jejím provedení se odzkoušelo, zda řídicí systém funguje správně dle požadavků a provedlo se experimentální ověření funkčnosti.

## Závěr

Na začátku této bakalářské práce je vypracována teoretická rešerše napájecí palubní sítě a provedena praktická analýza stavu akumulátoru a CAN komunikace.

Ve druhé kapitole byl proveden návrh hardwarového a softwarového řešení. Byl vysvětlen důvod integrace systému managementu napájení s přídatným akumulátorem spolu se zadanými požadavky. V kapitole bylo navrženo schéma zapojení systému a provedl se výběr jednotlivých komponentů. Dále je uveden popis vybraného softwarového prostředí a na obrázku 2.7 je znázorněn vývojový diagram. Navržené schéma zapojení systému je znázorněno na obrázku 2.2.

Na obrázku 3.1 je znázorněno praktické vnitřní zapojení E-boxu a podrobný popis zapojení komponent v něm umístěných. Výsledný stav zkompletovaného E-boxu je znázorněn na obrázku 3.2 a jeho zapojení ve vozidle na obrázku 3.3. Princip funkce vytvořeného programu je popsán v kapitole 3.3

V poslední části je provedeno experimentální ověření funkčnosti systému a vytvořena technická dokumentace vozidla. Experimentální ověření bylo provedeno pomocí digitálního osciloskopu, kterým se snímalo napětí na akumulátorech před, během a po rozpojení nebo spojení akumulátorů paralelně. Výsledný snímek a jeho popis z měření na osciloskopu je vidět na obrázku 4.1. Byla vytvořena technická dokumentace vozidla, která se skládá z kapitol důvod a popis integrace. V závěru práce je vytvořena uživatelská příručka, která je přílohou BP. Funkčnost systému se potvrdila experimentálním ověřením.

Bakalářská práce bakalantovi přinesla nové poznatky o parametrech akumulátorů a nové zjištění funkce IBS senzoru a jeho ovlivňování napájecí palubní sítě vozidla s více akumulátory v praxi.

## Použitá literatura

- [1] Konstrukce a údržba akumulátorů. Jak prodloužit životnost baterie. *Stavební-technika* [online]. 8. 11. 2020 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/konstrukce-provoz-a-udrzba-akumulatoru-aneb-prodluzte-zivotnost-vasi-baterie>
- [2] FUNKCE A KOMPONENTY ALTERNÁTORU. *ALLSTAR* [online]. 15. 5. 2019 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://obchod.autoelektrika.cz/cs/blog/clanek/funkce-a-komponenty-alternatoru>
- [3] TACINA, Lukáš. *Regulace napětí alternátorů – principy a obvodové struktury*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava.
- [4] ŠIMONÍK, Petr. Automobilová elektronika I: Elektronické studijní opory - AE1 opora 2. Vsb.cz [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.vsb.cz/e-vyuka/cs/subject/430-8731/01>
- [5] STRUČNÁ INFORMACE: Inteligentní bateriový senzor (IBS) 12 V. *HELLA* [online]. , 4 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: [https://www.hella.com/agriculture/assets/media\\_global/621\\_BI\\_IBS\\_12V\\_HELLA\\_CZ.pdf](https://www.hella.com/agriculture/assets/media_global/621_BI_IBS_12V_HELLA_CZ.pdf)
- [6] Jak vybrat autobaterii. *Co vybrat* [online]. Březen 2021 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.covybrat.cz/nejlepsi-autobaterie/#zakladni-typy-autobaterii>
- [7] VACULÍK, Martin. Nespolehlivost baterií moderních aut: Jak je to ve skutečnosti s jejich výdrží? *Auto* [online]. 11. 11. 2018 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: [https://www.auto.cz/nespolehlivost-baterii-modernich-aut-jak-je-to-ve-skutecnosti-s-jejich-vydrzi-125770?fbclid=IwAR0E4PcxW7wPY7hug1grlh-6mzbaeEAXOKidbL\\_pxEflpS0OTXVCJwmgYTY](https://www.auto.cz/nespolehlivost-baterii-modernich-aut-jak-je-to-ve-skutecnosti-s-jejich-vydrzi-125770?fbclid=IwAR0E4PcxW7wPY7hug1grlh-6mzbaeEAXOKidbL_pxEflpS0OTXVCJwmgYTY) IBS
- [8] DC/DC měnič: Datasheet. *Czech Meanwell* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.czech-meanwell.cz/meanwell/SD-15A-05-Mean-Well-Menic-DC-DC-uzavreny-15W-5V-d2462.htm>
- [9] Automobilové relé: Datasheet. : *JB Elektronik* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <http://www.jb-elektronik.cz/e-shop/?action=detail&id=ID791#>
- [10] ESP32-EVB. Olimex [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.olimex.com/Products/IoT/ESP32/ESP32-EVB/open-source-hardware>

## Seznam příloh

Příloha A: Uživatelská příručka .....	I
---------------------------------------	---